本省現有稻穀乾燥機性能試驗

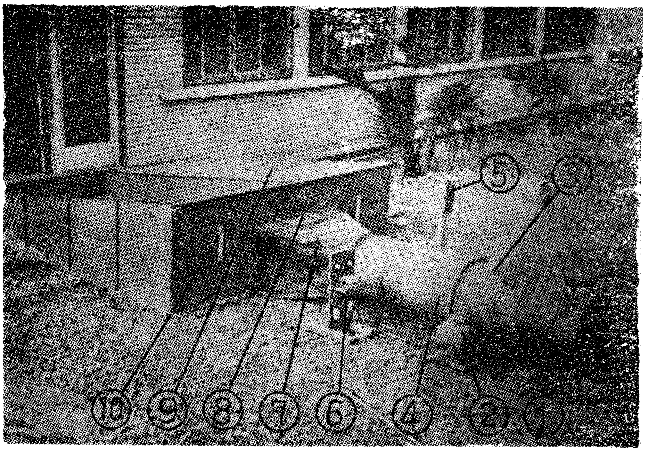
林　展　弘　　鄔　清　標

一、前　　言

由於本省氣候高溫，多雨濕度大，在農產水稻收穫期間且常連日陰雨，致使稻穀水分無法去除，而導致發芽發霉之損失，尤其本省中南部一期及北部二期水稻收穫期，所受影響最爲嚴重，爲了解決此問題，農林廳乃與中農設計一新式雨季稻穀搶救性乾燥機。

農廳——中農高坂式乾燥箱專爲配合一般農村經濟及農民之需要而設計，其所採取熱風乾燥法，可說是一新穎且實用之方法，目前已有逐漸推廣之勢，在此我們對其乾燥時，在穀層中之水分變化情形及其可能產生之問題，應能作進一步之探討，以作將來稻穀乾燥方法之改良與發展之基礎。

二、農廳一中農高坂式乾燥箱構造簡介



① 焦炭爐
② ½馬力單相馬達
③ 鼓風機
④ 風量測定筒
⑤ 測定風壓用U形管
⑥ 安培計，伏特計，瓦特計
⑦ 通風帆布套
⑧ 進氣門調節桿
⑨ 穀箱
⑩ 箱底L型溫度計。

此熱風乾燥機，由二分之一馬力之單相馬達帶動一導翼式鼓風機，吸取焦炭爐燃燒之熱氣吹入穀箱，穀箱分成左右兩隔，各有進氣門調節左右箱風量之多少，當一隔換裝稻穀或攪拌時，可關閉氣門，另一隔可繼續進行乾燥工作。（如上圖）

三、稻穀火力乾燥原理

乾燥原理卽爲利用各種機械使穀子內部水分蒸發，不論其所用之方法爲何，其作用均係相同，火力乾燥法卽爲最常用之熱空氣乾燥法，係先使空氣加熱，降低其相對濕度，然後通過穀層帶走水分。

在熱風乾燥法中往往受到許多因素之影響，必須能將各因素控制得當，才能達到理想，配合不當，則效用不佳，減低乾燥效率，玆列舉幾種重要因素如下：

(1)風。包括風量與風速。

(2)　溫度。

(3)　濕度。

(4)　乾燥速度。

(5)　穀層厚度。

四、將以上各因素說明如下：

(1)風：包括風量與風速。

(A)風量：風量大則在同一時間所能吸收穀層之水分亦多，反之則少，故乾燥程度與風量之大小極有關係。

(B)風速：當空氣流動得快，促使稻穀層裡水分蒸發容易，同時也常可使空氣保持乾燥，以供穀層水分之蒸發，在乾燥過程中風速亦極重要。

(2)溫度：乾燥溫度的高低直接影響穀層水分變化，溫度太高有傷稻米粒的品質，溫度太低則熱空氣濕度太高，對穀層水分沒有吸收力，無法促使水分蒸發。

(3)濕度：整個乾燥問題，可說就是濕度問題，空氣愈乾溫度愈高，其吸收水分的能力亦强，反之則低，在亞熱帶的本省，空氣濕度很大，因此須運用高溫以求取濕度極低之空氣，但又受穀子品質之限制無法提高溫度。濕度問題具有多方面的相關性，如能控制得當則乾燥問題，就得解決。

(4)乾燥速度：在陰雨天實施搶救性稻穀乾燥時，我們不可忽略之問題為稻穀米粒之胴裂問題，胴裂與熱脹冷縮有關，而乾燥速度即為其影響因子。

(5)穀層厚度：穀層愈厚空氣流通不易；太薄易使空氣流失消耗燃料，當求較適厚度，以合經濟要求。

上列乃乾燥過程中之五種主要因素，如能隨時控制得當，則效率自然提高成本減低。

五、玆將農廳一中農高坂式乾燥機之試驗記錄列於下表：

表　一

試驗日期		56年1月18日	試驗地點		農機系實驗工廠
天氣		陰	大氣濕度		乾球 15°C 濕球 13.5°C
稻穀品種		臺農38號			
乾燥前	稻穀重量	616公斤	乾燥後	稻穀重量	470.9公斤
	含水量	41.8%		含水量	表層 20.8% 底層 18%
穀層厚度		17.3公分			
動力機		單相馬達1/2馬力	鼓風機		導翼式推進型
馬達廻轉數		1720轉/分	鼓風機廻轉數		1500轉/分
電壓		112伏特	靜壓差		6.4公厘
電流		3.8安培	風量		0.8立方公尺/秒
本次總耗電量		1.5仟瓦，小時			
焦炭總消耗量		20.2公斤			

時間	溫度°C							含水率%		備註
	箱底	箱前段		箱中段		箱後段				
	±2°C	表層	底層	表層	底層	表層	底層	表層	底層	
0.5小時	50	23.5	41	24.5	40	25	41	37	33.5	1.胴裂率：19%（包括未乾燥前已碎裂者）。 2.碎米率：6.4%。 3.乾燥中：每隔1小時攪拌一次。 4.胴裂率：係採用隨機取100粒剝殼在燈光上觀察斷裂計算。 5.碎米率：係用200公斤稻谷精白後取一公斤之白米其中斷一半之米粒計算。
1小時	46	24.5	44.5	27	39.5	28	33	33	32.5	
1.5小時	30	20	38	21.5	30	22	32	27.7	31.7	
2小時	52	27	54	26.8	53	27.5	55.5	28.5	23.4	
2.5小時	48	31.5	34	35	36.5	34.5	38.5	26	20.4	
3小時	33	29.5	30	28	31.5	29	20.8	20.8	18	

表 二

試驗日期		55年1月19日	試驗地點		農機系實驗工廠
天氣		陰	大氣濕度		乾球 19.5°C 濕球 17°C
稻穀品種		臺農 38 號			
乾燥前	稻穀重量	480公斤	乾燥後	稻穀重量	323.5公斤
	含水量	40.4%		含水量	表層21.9% 底層18.9%
穀層厚度		12.5公分			
動力機		單相馬達1/1馬力	鼓風機		導翼式推進型
馬達廻轉數		1720轉/分	鼓風機廻轉數		1500轉/分
電壓		112伏特	靜壓差		5公厘
電流		3.8安培	風量		0.84立方公尺/秒
本次總耗電量		1.25仟瓦小時			
焦炭總消耗量		18.45公斤			

時間	溫度°C							含水率%		備註
	箱底	箱前段		箱中段		箱後段				
	±2°C	表層	底層	表層	底層	表層	底層	表層	底層	
0.5小時	66		48	29.8	31.8		41	37.3	36.5	1.胴裂率18% （包括未乾前已碎裂者） 碎米率6.1%。 2.每隔1小時攪拌一次。
1小時	60		52	27	50.5		53	33	27.6	
1.5小時	58		58	35	53.3		48	34.4	26.5	
2小時	50		44	41	45		40	27.5	22	
2.5小時	40		31	28.5	33		30	21.9	18.9	

表 三

試驗日期		56年1月20日	試驗地點		農機系實驗工廠
天氣		晴	大氣濕度		乾球 25°C 濕球 22°C
稻穀品種		臺農 38 號			
乾燥前	稻穀重量	800公斤	乾燥後	稻穀重量	679.8公斤
	含水量	20.8%		含水量	表層13.65% 底層12.7%
穀層厚度		27公分			
動力機		單相馬達1/2馬力	鼓風機		導翼式推進型
馬達廻轉數		1720轉/分	鼓風機廻轉數		1500轉/分
電壓		112特	靜壓差		9.5公厘
電流		3.8安培	風量		0.735立方公尺/秒
本次總耗電量		1.5仟瓦小時			
焦炭總消耗量		10.2公斤			

時間	箱底溫度 ±3° °C	水分率		備註
		表層	底層	
30分	37	18.15	17.00	1. 未烘前胴裂率18% 烘後胴裂率28% 烘後碎米率9.4%。 2. 此次供試之稻穀係18,19,日搶救乾燥者。
1小時	37	16.80	16.10	
1小時30分	37	16.00	15.40	
2小時	37	14.50	14.15	
2小時30分	37	14.15	13.3	
3小時	37	13.65	12.7	

表四 農廳一中農高坂式穀類乾燥機試驗記錄表（55年 2 期作） 測試員：林文雄

示範農戶或機關名稱	蔡陽力	地址	臺北縣五股鄉更寮村鴨母港31號						
供試品種	臺北三〇九號	乾燥前	稻穀重量 980公斤	發芽率 95%	乾燥後	稻穀重量 842公斤	發芽率 97%	精選後稻穀重量	810公斤
電氣用量	乾燥開始	126.9度	乾燥完畢	131.2度	所用電度數	4.3度	所用電費	4.1元	
碾米率	73%		碎米率	9.2%					

日/月	室內溫度	室內相對濕度	天氣	雨量	加熱後空氣溫度 右箱	加熱後空氣溫度 左箱	加熱時間	稻穀層溫度°C 右箱	稻穀層溫度°C 左箱	稻穀各層含水量% 上層 右箱	上層 左箱	下層 右箱	下層 左箱	燃料 種類	燃料 用量
25/11	22°C	95%	陰雨	0.7mm	55°C	50°C	12時46分			20%	20%	20%	20%		
					48	45	13時46分			15.5	15.5	15.5	15.5		
	22	95			48	45	14時46分			15.5	14.5	14.5	14.5		
					48	45	15時46分			15.5	14.0	14.0	14.0		
	22	95			48	45	16時30停	18時35分開始		14.2	14.0	14.0	13.7		
					45	43	19時35分			14.0	14.8	13.4	13.3		
	18.5	94			38	43	20時35分			14.0	13.8	12.4	12.3		
					40	43	21時35分			13.4	13.2	11.5	11.5		
	18.5	94			38	40	22時35分			12.5	12.5	11.2	11.2		
計				0.7mm										黑色焦碳	34.2公斤

※黑色焦碳每公斤1.56元×34.2公斤=53.4元+電費4.1元=57.50元。

表五 農廳一中農高坂式穀類乾燥機試驗記錄表（55年2期作） 測試員：林文雄

示範農戶或機關名稱	蔡連豹及蔡陽力	地址	臺北縣五股鄉更寶村鴨母港35及31號

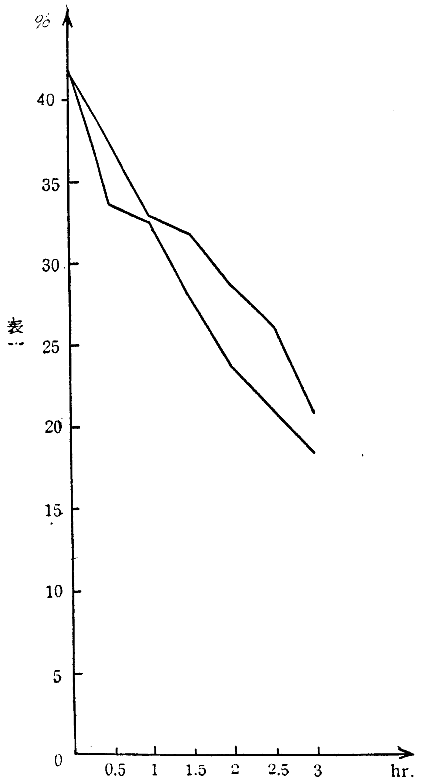
供試品種	臺北三〇九號	乾燥前	稻穀重量	蔡連豹547公斤 蔡陽力477公斤 計 1,024公斤	乾燥後	稻穀重量	蔡連豹449.0公斤 蔡陽力349.8公斤 計 796.8公斤	精選後稻穀重量	蔡連豹429公斤 蔡陽力329公斤 計 756公斤
			發芽率	96%		發芽率	95%		

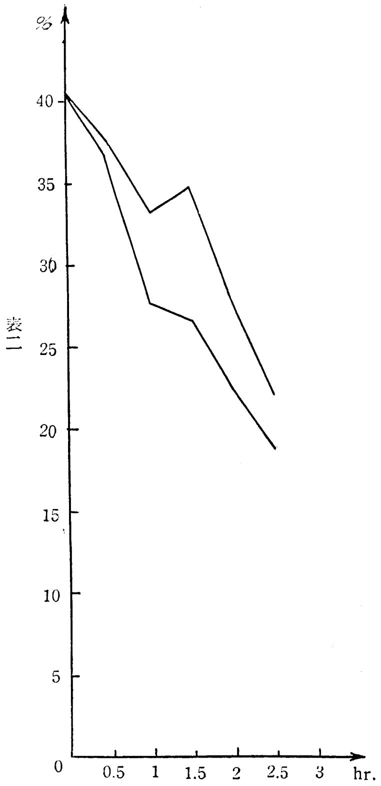
電氣用量	乾燥開始	131.4度	乾燥完畢	137.0度	所用電度數	5.6度	所用電費	5.3元

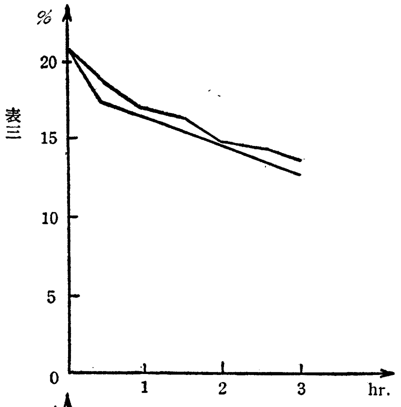
碾米率	76%	碎米率	8.8%

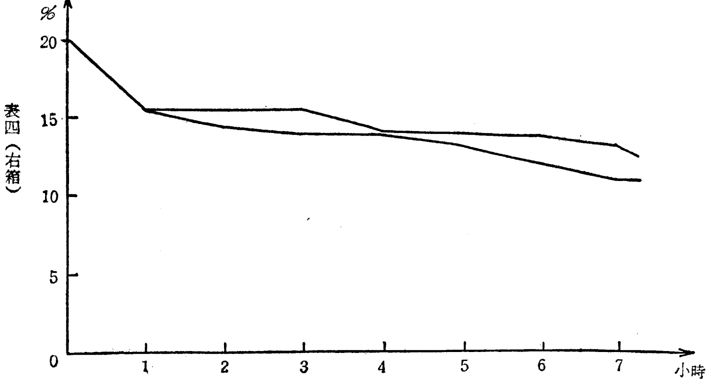
日/月	室內溫度	室內相對濕度	天氣	雨量	加熱後空氣溫度°C 右箱	加熱後空氣溫度°C 左箱	加熱時間	稻穀層溫度°C 右箱	稻穀層溫度°C 左箱	稻穀層含水量% 上層 右箱	上層 左箱	下層 右箱	下層 左箱	燃料 種類	燃料 用量
26/11	17°C	89%	陰雨		50	48	10時12分	36.0	39.0	20.09以上	20.0%	20.0%以上	20.0%		
					55	48	11時12分	37.0	39.0	18.0	20.0	18.0	20.0		
	18	89	〃		49	45	12時12分	41.0	37.5	18.0	18.5	17.0	17.5		
					49	45	13時12分	41.0	37.5	17.5	17.0	16.8	16.8		
	18	89	〃		48	45	14時12分	41.0	38.0	17.0	16.8	16.5	16.6		
					49	45	15時12分	41.5	38.5	16.7	16.4	16.2	16.3		
	17	89	〃		49	45	16時12分	42.0	41.0	16.3	16.2	15.7	15.7		
					49	45	17時12分	43.0	42.0	15.5	15.5	15.3	15.3		
	17	94	〃		48	43	18時12分	41.0	39.0	14.7	14.7	14.7	14 6		
					48	43	19時12分	41.0	39.0	14.0	13.9	14.0	13.8		
	16	94	〃		40	38	20時12分	34.0	32.0	13.2	13.0	12.4	12.1		
					40	38	20時21分	34.0	32.0	13.0	12.8	12.3	12.1		
計							10時09分							黑色焦碳	45公斤

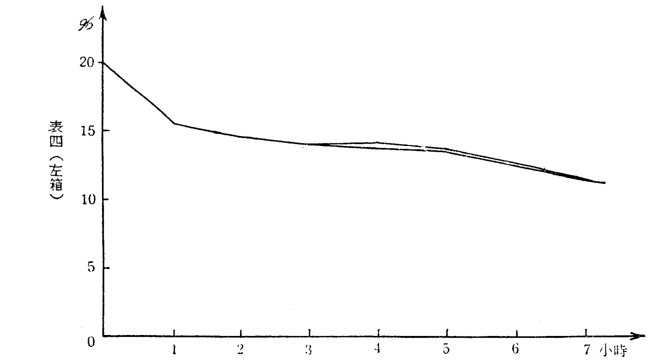
※黑色焦碳每公斤1.56元×45公斤=70.2元+電費5.3元=75.5元。

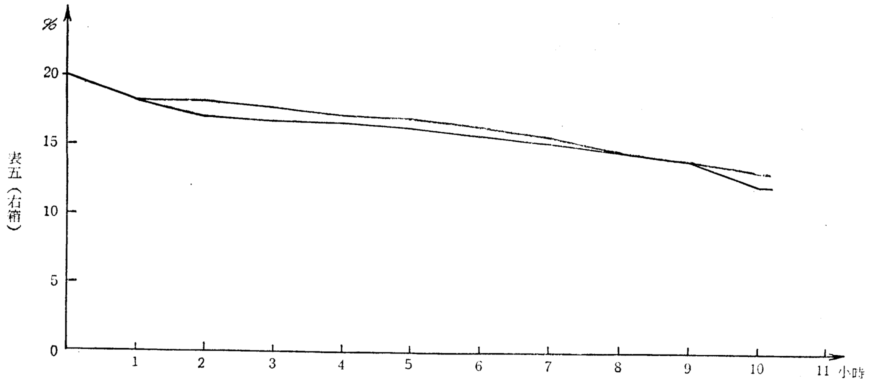

%
40
35
30
表一
25
20
15
10
5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
hr.

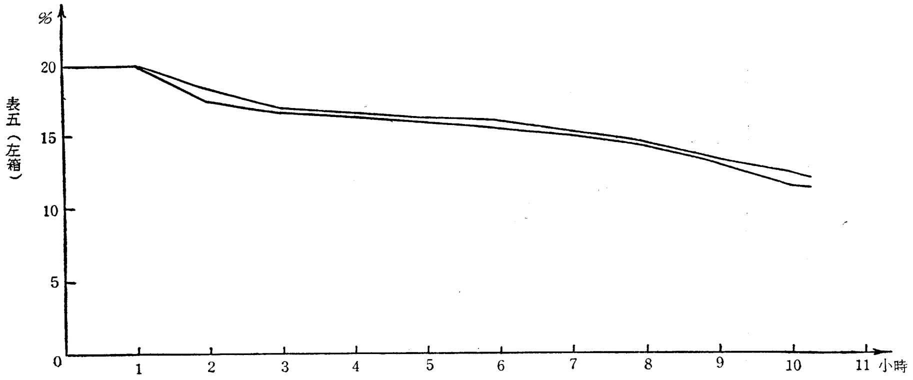

%
40
35
30
表二
25
20
15
10
5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
hr.

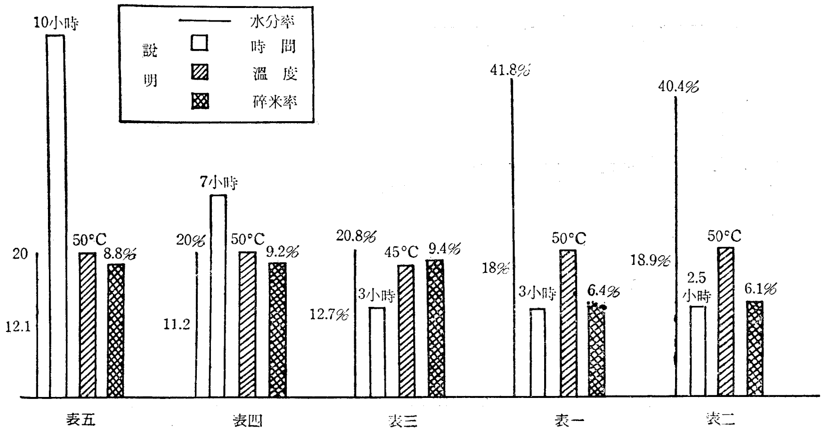

%
20
表三
15
10
5
0
1
2
3
hr.


%
20
表四（右箱）
15
10
5
0
1
2
3
4
5
6
7
小時


%
20
15
10
5
0
表四（左箱）
1
2
3
4
5
6
7 小時


%
20
15
10
5
0
表五（右箱）
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11 小時


%
20
15
10
5
0
表五（左箱）
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11 小時


說明
水分率
時間
溫度
碎米率
10小時
20
12.1
50°C
8.8%
7小時
20%
11.2
50°C
9.2%
20.8%
12.7%
3小時
45°C
9.4%
41.8%
18%
3小時
50°C
6.4%
40.4%
18.9%
2.5 小時
50°C
6.1%
表五
表四
表三
表一
表二

我們從水分率變動曲線圖表及統計圖表來看：

(1) 上下穀層水分率差距：

①水分率曲線表一及表二之最大差距爲表二之 8 %，此差距在有實施攪拌工作的乾燥過程不可能發生，此差距可能由於取樣時誤差。就理論上來說，在兩表之間表一比較正常。

就水分率高40%的稻穀乾燥過程來看，由於水份太多，底層穀乾燥後，水份漸蒸發，向上層穀移動，由於上層溫度較低，因此有一部份的水就再凝結，滯留於上穀層。形成底層穀的水份與上層穀水份差距增加。此種現象在乾燥過程極不經濟，必需時常翻動攪拌才能避免。尤其穀層愈厚者攪拌工作次數應增加。

②表一、表二，乾燥工作屬於安全乾燥，表三爲儲存乾燥。水分率曲線較前二者平均差距也小。同樣的表四、表五上下層水分率曲線差距亦甚小。這種現象係由於穀粒外殼水分已被乾燥，剩下来的都是稻穀粒內部水分之故。此現象的發生時期約在穀層水分率爲 16 %至 18 %之間。

③水分率曲線差距減小之原因：

稻穀外殼水分消失可能是曲線漸趨平穩的主要原因，在這個時期由於穀粒內部水分向外蒸發的速度較慢，另方面由於穀層水分漸少，空氣所受阻力也清低。因此水分率曲穩漸平穩而水分率差距也大大的減少。

(2) 穀層厚度的影響：

穀層較厚時乾燥時間也較長，水分率差距也大。就水分率說：

①20%以下：表五穀層最厚，在表五的曲線裡，由於水分率已乾燥至20%以下，因此水分率差距極小。但在17%時由於穀層較厚之關係，差距一直維持在0.8%左右。

表四，左箱的情形，從水分率曲線的變化，可看出平穩且差距小，是爲乾燥~~曲~~線最理想的一個，然而由於乾燥速度較慢無法提高熱效率。

②40%時：穀層太厚時，易使曲線差距增加，同時曲線變動大。此時若不實施攪拌工作時易致乾燥時間增長，下層稻穀受熱過久或過度乾燥而發生胴裂現象，間接影響將來精白時之碎米率增加。

③攪拌工作：由表一、二，的實驗可知若攪拌次數增加確可使乾燥效率提高，但仍以每小時攪拌一次較適，否則卽有濫用人工之損失。

(3) 乾燥速度：空氣溫度與風速直接控制乾燥速度而影響穀粒胴裂，但確能降低燃料之消耗，提高熱效率，但就碎米率來說，則殊不值得。故仍取適當之乾燥速度爲佳，將乾燥速度與碎米率列表如下：

	表　一	表　二	表　三	表　四	表　五
原水分率%	41.8	40.4	20.8	20	20
乾燥後水分率%	18	18.9	12.7	11.2	12.1
水分率差%	23.8	21.5	8.1	8.8	7.9
乾燥時間小時	3	2.5	3	7.23	10.15
乾燥速度%/小時	7.9	8.6	2.7	1.2	0.88
碎米率%	6.4	6.1	9.4	9.2	8.8%

① 在表一、二裡所示乾燥速度率在 8.6 %/小時時並無影響，因水分高達40%，因此最初能以高溫，高風速乾燥10分鐘左右，再以50°C溫度繼續乾燥之。

② 表三、四乾燥速率在 1.2與 2.7%/小時之間並無甚大之分別，因之可在此範圍內，加以乾

燥可省時，省燃料，直接提高熱效率。

六、熱　效　率：

熱效率是衡量一部乾燥機在純水分乾燥方面優劣的方法，由熱效率可看出如何來改良熱風乾燥機，但一部乾燥機的性能，除了熱效率之外仍有許多因素與它發生直接間接之影響。

下列為乾燥機各項試驗之熱效率計算：

表一，所除去之水分量為 616×(0.418−0.18)＝146.5公斤

146.5公斤之水由氣溫 15°C 化成 50°C 之蒸氣需熱

146.5公斤(50−15)＋146.5×568.92＝83.300卡………(1)

(50°C時水之汽化熱為568.92卡/公斤，水的比熱為 1)

燃料焦炭共消耗20.2公斤，每公斤熱量為7,500卡。

所產生之熱量共為 20.2×7,500＝151,500 卡………(2)

$$故熱效率為：\frac{83,300}{151,500}=55\%。$$

表二　所蒸發之水量為21.5%×480＝96公斤

所需之蒸發熱為66×〔30.5＋598.92〕＝57,500卡

焦炭所產生之熱量為18.45×7,500＝138,500卡

$$熱效率為\frac{57,500}{138,500}=41.5\%。$$

表三　所蒸發水量為8.1%×800＝64.8公斤

蒸發熱需量 64.8(30＋568.92)＝38,300卡

焦炭所產生之熱能量為：10.2×7,500＝73,500卡，

$$熱效率=\frac{38,300}{73,500}=52.1\%。$$

表四　水份蒸發量8.8%×980＝81.3公斤

水份蒸發需熱81.3〔30＋568.02〕＝48,700卡

焦炭所生之熱34.2×7,500＝256,500卡

$$熱效率\frac{48,790}{256,500}=19\%。$$

表五　水份蒸發量為7.9%×1024＝81公斤

水份蒸發需熱為81〔30＋568.92〕＝48,600卡

焦炭所產生之熱為45×7,500＝337,50卡

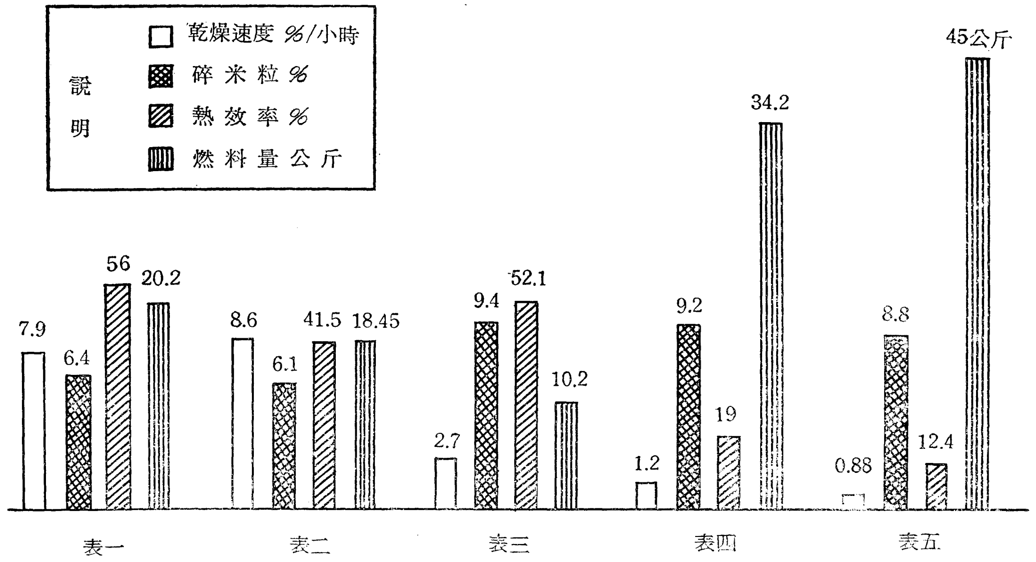
$$熱效率\frac{48,600}{337,500}=12.4\%。$$

(1)　由上表一、二我們可看出水分率在 40 %之穀層施以 8.6 %/小時之乾燥速度，溫度維持在 50°C 其所造成之結果是省時，且能提高熱效率。

(2)　表三、四、五的乾燥情形以表三最經濟，但碎米粒則較多其省時、省燃料實為最佳處，因風量風速與溫度控制得當的結果，促使熱效率大為增加。

(3)　熱效率在搶救性乾燥中並不是一很重要的因子，前述它在整個稻穀乾燥過程中指示出乾燥機在水份率與燃料量之關係，在純理論方面是一最基本的研究要項，但在搶救性乾燥中，時間與乾燥速度才成為工作重點。

(4)　由熱效率高者可看出各項因子配合的情況較佳。



七、結　　論

(1) 要從熱效率的觀點來衡量這部乾燥機，在以上幾個試驗裡，我們是無法作詳盡的分析研討，但我們所知道的是一個良好的乾燥工作中是要能把各種影響因子適當的加以運用，而良好的運用就能提高熱效率。因此我們所能運用熱效率的是來衡量我們實施乾燥工作的優劣。在此我們是以熱效率來印證前面整個乾燥的工作過程，來判斷各項因子的控制與運用之是否得當。

(2) 再就從水分率的變動情形來看，在對穀層厚度與乾燥速度問題間應能有一適當的規則。一般穀層水分率的變動有如下圖。

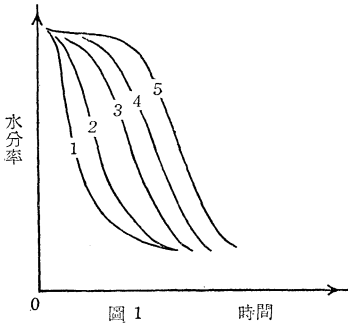


圖 1

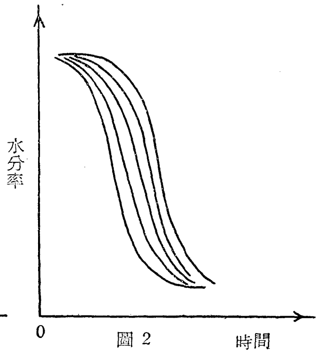


圖 2

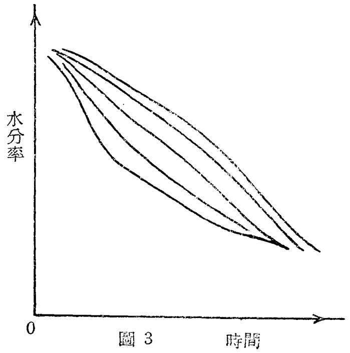


圖 3

圖 1 在理論上若能隨時施予攪拌均勻，即能得如圖 2，上下層的水分率相差愈小對於我們急速乾燥愈有利；但如圖 3 則乾燥速度慢，其害處爲降低熱效率。由此，要能提高熱效率則有如下列二法則。

法則一，試從圖 1 由下而上，由內而外分成五層，其第一層之乾燥情形是爲最理想。試想若能隨時將第一層換下，再由上層進補而由第 5 層上面另外加添新穀，繼續乾燥時，那麼水分率變動曲線，只要能控制第一層，即可。這時我們可隨意調節或變動其他乾燥因子，而把穀層水分率變動、或差距等問題略去。此爲一理想之法則。

法則二，如圖 2，上下穀層水分率曲線差距逐漸減小，若能使此差距消失則必能達到乾燥理想。在

這裡我們可以以隨時不斷攪拌的方法求得之。但是不斷的攪拌所費人工太大，反而不經濟。

因此我們必須自動攪拌方面着手，並要求精簡方便合乎經濟，始能收效。

以上二法則乃由以上各節的討論所演譯者。由於目前本省乾燥機工作情形通常以空氣乾燥固定穀層稻穀，因此不管燃燒部份如何改進，其水分率變化曲率所顯現的各種問仍然無法解決。如能打破此守舊形式則乾燥機的性能必然可改進，乾燥效率也可提高。

八、摘　要：

(1) 穀層愈厚，上下層水分率差距愈大，乾燥時間較長。

(2) 水分率高且穀層厚時，常實施攪拌較爲有利，可提高乾燥效率。

(3) 水分率高達40%，而穀層厚度在17公分以上時，風速若保持 0.86立方公尺/秒，則乾燥速率可高達 8.6%/小時，而影響不大且提高熱效率。但必須限於搶救性乾燥時。

(4) 搶救性安全乾燥熱效率較高，而儲存性乾燥則一般較低。（碎米率不變的情形下）

(5) 熱效率可做爲衡量乾燥工作優劣之參考。

(6) 目前乾燥機應走向能控制水份率變化曲線的新途徑。

九、誌　謝

本試驗承中農，高坂教授之指導及農試所農機系同仁之協助，另有臺北改良場提供之試驗資料，於此一併誌謝。

十、參 考 文 獻

1. Thermodynamics by George A. Hawkins
2. 農業機械實驗便覽，東京大學農業工學教室
3. 農廳一中農高坂式穀類乾燥機示範報告臺北區農業改良場

TESTING OF THE EFFICIENCY OF THE CURRENT GRAIN DRYER IN TAIWAN

by

C. H. Lin & C. P. Wu

SUMMARY

1. The deeper the grain layer, the more the drying time needs and the more moisture contain difference between the top and the bottom of the grain layer.
2. As the moisture contain is high and the layer deep, it is better to mixture the grain layer occasionally to get the higher drying efficiency.
3. For a 40% high moisture contain of a more than 17cm. deep layer, and the air velocity maintain at 0.86 m/sec, it is still safe to operate in the drying speed of 8.6% per hour,
4. Rapid drying has higher heat efficiency than storage drying.
5. Whether it is good or not in the operation of drying can be checked by the heat efficiency.
6. A new dryer must be designed in such a new way as can control the change of the miosture contain in the drying.